

【附件三】教育部教學實踐研究計畫成果報告格式(系統端上傳 PDF 檔)

教育部教學實踐研究計畫成果報告(封面)
Project Report for MOE Teaching Practice Research Program (Cover Page)

計畫編號/Project Number：**PAG107002**

學門分類/Division：**生技農科**

執行期間/Funding Period：**107 年 8 月 1 日~108 年 7 月 31 日**

(計畫名稱/Title of the Project)
**建構永續農業導向之植物組織培養學探究實作課程
用以研發增益作物生長與免疫之土壤益生菌**

(配合課程名稱/Course Name)
**植物組織培養學
植物組織培養學實驗**

計畫主持人(Principal Investigator)：**傅士峯 教授**

共同主持人(Co-Principal Investigator)：**周睿鈺 教授**

執行機構及系所(Institution/Department/Program)：

國立彰化師範大學 生物學系

繳交報告日期(Report Submission Date)：**108 年 9 月 18 日**

目錄

| | |
|--|----|
| 一. 報告內文(Content)..... | 4 |
| 1. 研究動機與目的(Research Motive and Purpose)..... | 4 |
| (1)教學實踐研究計畫動機..... | 4 |
| (2)教學實踐研究計畫主題及研究目的..... | 4 |
| (3)教學實踐研究計畫研究目的及目標..... | 6 |
| 2. 文獻探討(Literature Review)..... | 6 |
| (1)永續農業方式逐漸成為現今國內外之趨勢..... | 6 |
| (2)增益作物生長與免疫之土壤益生菌在永續生態農法之重要性..... | 7 |
| (3)土壤中磷元素之狀態..... | 7 |
| (4)溶磷微生物之溶磷特性與機制..... | 8 |
| (5)植物組織培養學」既有課程目標與融入「永續農業」導向目標..... | 8 |
| (6)建構生物學探究實作「教學鷹架」有助於學生主動學習與解決問題之案例..... | 9 |
| 3. 研究方法(Research Methodology)..... | 10 |
| (1)研究場域說明..... | 10 |
| (2)研究步驟說明..... | 13 |
| A.研究架構..... | 13 |
| B.研究假設..... | 14 |
| C.研究範圍..... | 14 |
| D.研究對象..... | 14 |
| E.研究方法及工具..... | 14 |
| F.實施程序..... | 16 |
| G.資料處理與分析..... | 16 |

| | |
|--|----|
| 4. 教學暨研究成果(Teaching and Research Outcomes) | 17 |
| (1)教學過程與成果..... | 17 |
| A 成果: 探究討論課程以比較永續農業與慣行農法之差異與優劣勢 | 17 |
| B 成果: 建構線上影音開放式課程-植物組織培養理論與技術 | 17 |
| C 成果: 建構線上評量題庫與測驗-植物組織培養技術 | 19 |
| D 成果: 選殖與保種增益作物生長與免疫之土壤益生菌..... | 19 |
| E 成果: 分析益生菌之溶磷、固氮能力與增益植物生長效應..... | 20 |
| F 成果: 開發增益作物生長與免疫之益生菌製劑 | 20 |
| (2)教師教學反思..... | 21 |
| (3)學生學習回饋 | 22 |
| 二. 參考文獻(References)..... | 23 |
| 三. 附件(Appendix)..... | 24 |
| (1)本計畫相關雲端資料庫 | 24 |
| (2)教學實踐研究之植物組織培養課程計畫表 | 25 |
| (3)彰化師大雲端學院植物組織培養課程電子講義 | 26 |
| (4)學生於特有生物研究保育中心研究成果發表與研習議程表 | 27 |
| (5)本計畫經費收支結算表 | 28 |

建構永續農業導向之植物組織培養學探究實作課程 用以研發增益作物生長與免疫之土壤益生菌

一. 報告內文(Content)

1. 研究動機與目的(Research Motive and Purpose)

請描述所選擇研究議題的問題挑戰與背景、教學實務現場遇到之挑戰以及該議題的重要性與影響力。

(1)教學實踐研究計畫動機

「植物組織培養」為植物重要無性繁殖方法之一，利用生長激素誘導植物器官再生，目前已是發展現代農業生物科技，例如：花卉種苗、果樹種苗、中草藥藥性成分培養、作物益生菌選殖必備之基本技術，因此列為大學生物或農業相關系所需修習之課程。而「永續農業」以增加土壤與生態之多樣性方式來耕作，解決因「慣行農法」所施用化學農藥肥料造成土地的貧瘠與環境汙染，不僅確保作物食用安全，並達到永續經營發展目標，因此生態永續經營農法為國際趨勢與政府農業政策重點，增益作物生長與免疫之土壤益生菌在永續生態農法上扮演重要角色，然而，目前大學高等教育課程對於新興「永續農業」之探究與課程仍相當有限，例如：「永續農業」與「慣行農法」之優劣勢比較？如何具體應用農業生物科技發展「永續農業」？而將「植物組織培養技術」應用於「永續農業」發展之課程模組也仍待建構與開發？這也是本教學實踐研究計畫之研究動機與欲解決的問題，本計畫將在大學部「植物組織培養學」課程中，導入「永續農業」之概念，建構探究實作課程與多元技術評量，所培育與影響之農業生物科技人才與增益作物益生菌研發技術將能應用於發展「永續農業」。

(2)教學實踐研究計畫主題及研究目的

本教學實踐研究計畫將導入「永續農業」之概念至「植物組織培養」課程作為既有課程突破，計畫主題為：「建構永續農業導向之植物組織培養學探究實作課程用以研發增益作物生長與免疫之土壤益生菌」(Construction of sustainable agriculture-orientated plant tissue culture curriculum by inquiry into practice to develop crop-beneficial microbes)，本研究室目前已製作大學部「植物組織培養實驗技術」數位教材(Fig. 1)，作為大學生物學系所植物組織培養專業課程之輔助教材，也已應用到教學現場，學生可於課後不受時間地點限制，自行觀閱與修習，此外也與本系「酵母菌演化生態研究室」周睿鈺副教授(本計畫之共同主持人)進行跨領域合作與課程規劃，藉由植物組織培養技術，初步已經建立增益作物生長與免疫之土壤益生菌選殖實驗系統(Fig. 2)，也已發表相關論文(PLoS One 2014; Plant Signalling & Behavior 2015;

Fungal Biology 2016; Nova Hedwi) (Sun et al., 2014; Fu et al., 2015; Fu et al., 2016; Fu et al., 2017)，其中由臺灣本土所選殖出增益作物生長酵母菌獲選為 Plant Signalling & Behavior (2015) 期刊 9 月分當期封面(Fig. 2)。因此本計畫將於一年內分二階段目標執行，分項目標一：建構永續農業導向之植物組織培養學探究實作課程：次目標為：<1-1>探究課程以比較永續農業與



Fig. 1 已製作植物組織培養技術數位教材光碟與章節：包含培養基製作與植物培植體消毒等單元。

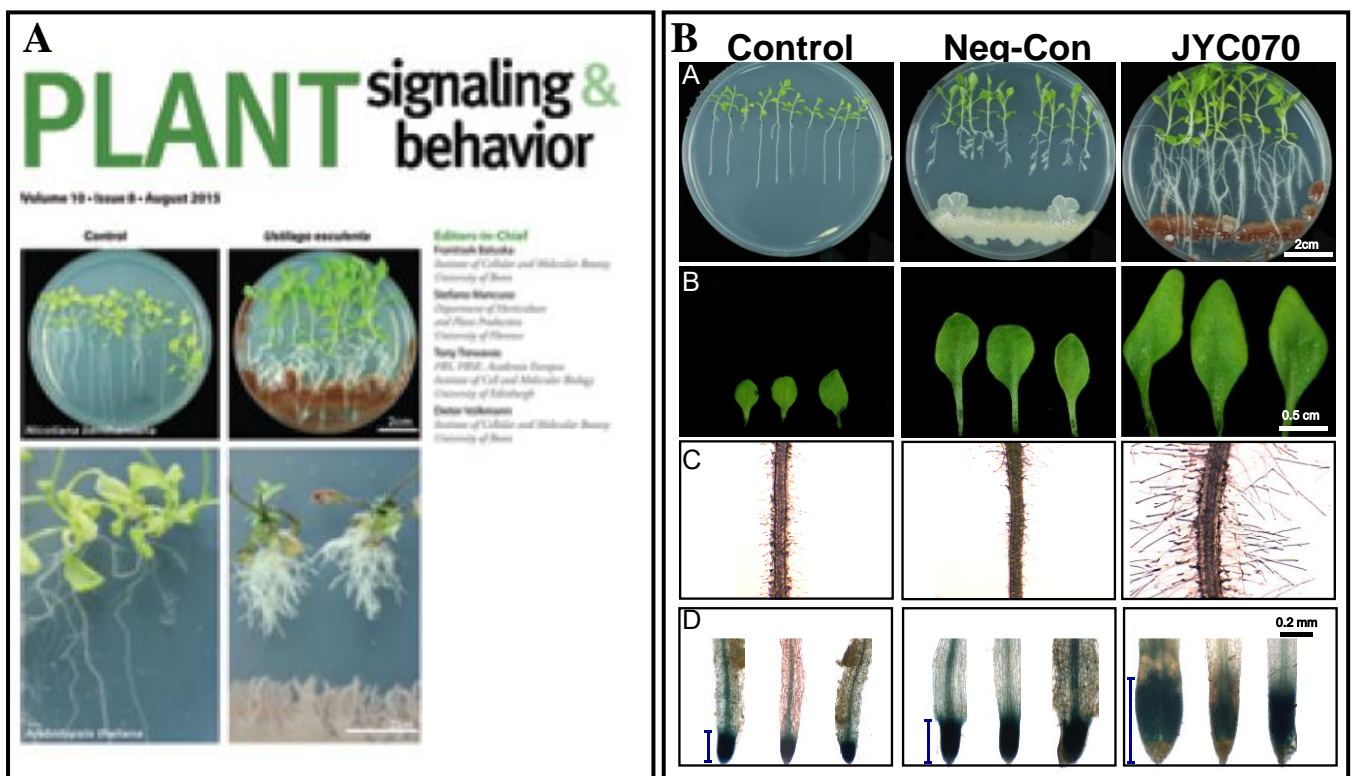


Fig. 2 由臺灣本土所選殖出增益作物生長酵母菌獲選為 Plant Signalling & Behavior (2015)期刊 9 月分當期封面 (A)。本研究室與「酵母菌演化生態研究室」周睿鈺副教授 (本計畫之共同主持人)共同合作，已經建立增益作物生長與免疫之土壤益生菌選殖實驗系統(B)，也已發表相關論文 (Sun et al., 2014; Fu et al., 2015; Fu et al., 2016; Fu et al., 2017)。

(3)教學實踐研究計畫研究目的及目標

本研擬教學實踐研究計畫目的有二項，第一項目的為：建構永續農業導向之植物組織培養學探究實作課程模組，欲達成目標與產出包含：探究主題報告、影音教材、線上評量系統、植物組織培養技術檢定流程；第二項目的為：研發增益作物生長與免疫之土壤益生菌並應用於永續農業，欲達成目標與產出包含：菌種資源庫、技術手冊、溶磷或固氮等益菌製劑、益菌製劑產品技轉。

2. 文獻探討(Literature Review)

請針對本教學實踐研究計畫主題進行國內外相關文獻、研究情況與發展或實作案例等之評析。

(1)永續農業方式逐漸成為現今國內外之趨勢

「慣行農法」(conventional agriculture)是指農作物生產過程中，施以作物化學農藥及土壤化學肥料，能在短期內以較有效率之方式，增加農作物產值，但是農業所面臨的問題在於化學肥料與化學農藥會改變土壤的生化結構，減少土壤微生物多樣性，使土壤貧瘠化與石化，此外使用農藥也衍生出蔬果作物農藥殘留之消費者食品安全問題，過度依賴土壤化學肥料也造成葉菜類蔬菜硝酸鹽累積之健康疑慮，因此「生態永續經營農法(ecological and sustainable farming)」的農業方式逐漸成為現今國內外之趨勢，農業經營者能以「友善對待土地」的態度，而非僅以追求產量為目標，以豐富與活化土壤益生菌、並以增益作物生長與免疫之土壤菌相之生態永續農法(Dessaux et al., 2016)，來進行農業生產與加值(Fig. 3)，然而國內對於大學院校雖然有「友善農業與生活」、「友善耕種與永續農業」之相關通識課程，但是以新興「永續農業」為導向之生物學或農學探究實作課程仍然相當有限？因此本計畫將以「永續農業」為導向，建構探究與實作課程模組，讓學生從消費者與農業生產者的角度與需求，以大學生物或農學相關系所之現有科目「植物組織培養學與實驗」產業應用為策略來進行「建構永續農業導向之植物組織培養學探究實作課程用以研發增益作物生長與免疫之土壤益生菌」，本計畫理論基礎在於繼代選殖增益作物免疫之土壤益生菌工程(Fig. 3)，預期不僅能建構課程模組、評量系統、學生於課程中也能製成有效增益作物生長與免疫之土壤益生菌來發展永續農業。

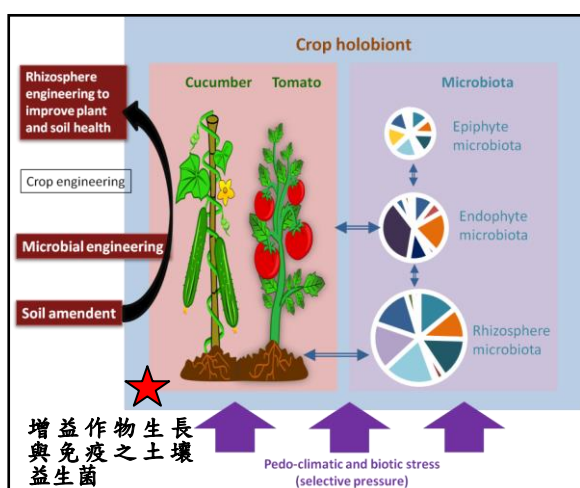


Fig. 3 本計畫「建構永續農業導向之植物組織培養學探究實作課程用以研發增益作物生長與免疫之土壤益生菌」之理論基礎。理論基礎主要在於以繼代選殖工程輔以植物組織培養策略來選殖出增益作物生長與免疫之土壤益生菌(例如：番茄與小黃瓜)，星號處表示繼代選殖增益作物生長與免疫之土壤益生菌(adapted by Dessaux et al., 2016)。

(2) 增益作物生長與免疫之土壤益生菌在永續生態農法之重要性

「永續生態農法」(sustainable and ecological agriculture) 乃結合生態學、微生物學、農學等學門，能以生物性策略(biological control)，包含：施以生物性肥料與增益作物生長與免疫之益生菌(soil microbiomes beneficial for plant immunity or disease suppression soil)等方法，來改善因「慣行農法」使用化學肥料與農藥，破壞農地生態系的耕作方式，永續生態農法不僅可以確保作物食用安全性，也增加土壤與生態之多樣性，並且達到永續經營發展之目標，而土壤益生菌包含：真菌與細菌在永續生態農法上扮演重要角色(楊與沈，2008)，並且能增加土壤微量與巨量元素之豐富度，例如：土壤益生菌之固氮作用(nitrogen fixation)、土壤益生菌之溶磷作用(phosphate and potassium solubalisation)、有機物之分解作用(biodegradation of organic matter) (Bhardwaj et al., 2014)，藉由土壤益生菌這些功能，能增加作物光合作用效率、調控植物荷爾蒙促進作物生長發育、促進作物根際吸收、增加作物產量，最近研究顯示：土壤益生菌相也能增益作物之免疫與抗病能力(Fig. 3)，增益作物生長與免疫之土壤益生菌會是永續生態農法中防治作物病原菌與作物健康管理重要的一把鑰匙。

(3) 土壤中磷元素之狀態

土壤中磷營養素存在的形態，包括無機態及有機態 (楊與沈，2008)。有機磷必須經過土壤微生物的作用，或藉由根部釋放的磷酸酶轉化為無機磷態，才可以被植物吸收利用(Hopkins and Huner, 2008)。而土壤無機態磷種類繁多，大致又可細分為3種型態，即吸附態、水溶態及礦物態。吸附態磷是指那些通過庫倫力、分子引力、化學鍵能等被土壤粒子表面所吸附磷酸根或磷酸陰離子，吸附力越高，磷的有效性也隨之下降。而在土壤溶液中可供植物吸收利用的有效磷型式，主要為多質子磷酸(H_3PO_4)，以水溶態的形式存在於土壤中。當可溶性磷加入土壤時，約1%會被植物所利用，若在酸性土壤中剩下的磷則會和高活性的 Al^{3+} 與 Fe^{3+} 結合並沉澱，若環境為鹼性則會和 Ca^{2+} 結合(Khan et al., 2009)，很快地轉變為不溶解型的礦物態(Mehta et al., 2014)。最終加入的磷肥約有80%會以金屬離子複合物的型式沉澱，因此全世界使用磷肥的有效磷回收率不超過20% (Qureshi et al., 2012)。所以起初施加磷肥時會增加磷的可用量，但會促使土壤中的無機態磷以結合型式存在增多，以致植物無法利用，所以需要不斷施加磷肥以確保植物的磷營養素足夠。但由於化學肥料的過度濫用與施加，導致土壤中不溶性磷的高累積量與土壤劣，因此溶磷微生物在提供植物所需磷營養素上扮演重要的角色，並且是以可持續性且更環保的方式(Onyia et al., 2013)。

(4)溶磷微生物之溶磷特性與機制

溶磷微生物(PSM, phosphate solubilizing microbes)通常發現於土壤中，其能溶解不溶性磷，降低原固定在土壤中的磷肥，增加磷肥有效的使用，並促進作物的生長發育(Gong et al., 2014)。溶磷微生物中除了細菌外，真菌也能幫助植物獲得足夠的磷(Reid and Greene, 2012)。目前已知可溶解難溶性磷之微生物包括細菌、放線菌及真菌類(楊與沈，2008)。然而必須滿足以下三項條件才能稱作為溶磷微生物，第一它能夠有效的傳播繁殖，第二要能溶解土壤中的磷酸鹽，最後需能促進植物的生長發育。微生物在植物的生長環境中主要是藉由酸化、質子的釋出、螯合以及還原反應來溶解無機磷，其中有機酸造成的酸化是微生物溶解無機磷最主要的機制，這些有機酸的羥基和羧基能夠螯合磷酸鹽中的陽離子如 Fe^{3+} , Fe^{2+} , Ca^{2+} , Al^{3+} 等金屬離子，使不溶性磷酸鹽將會轉變為可溶性磷酸鹽(Abbasi et al., 2015; Gong et al., 2014) (Fig. 4)，本教學實踐研究計畫將分離臺灣產本土溶磷益生菌並分析其促進植物生長效益。

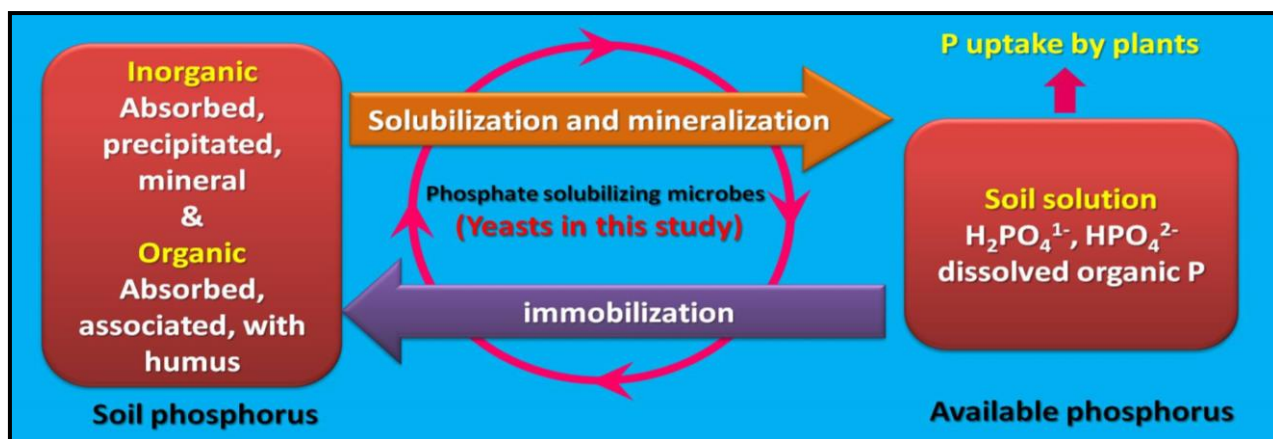


Fig. 4 溶磷微生物(如本計畫欲分離之溶磷酵母菌)與磷元素的關係圖。溶磷菌可將無機磷溶解，也可加速有機磷的礦質化而釋出磷酸根(橘色箭頭)，以利植物的吸收。

(5)植物組織培養學」既有課程目標與融入「永續農業」導向目標

植物組織培養為植物無性繁殖方法之一，利用生長激素誘導植物器官再生目前已是發展現代農業生物科技之基本技術，因此植物組織培養原理與技術在植物學上的重要性不言而喻，「植物組織培養學」主要課程目標與宗旨包含：**a.**讓同學具有植物組織培養之基本生物學知識素養；**b.**具有獨力建置植物組織培養系統能力；**c.**實際無菌操作技術與誘導植物器官再生之實驗設計能力，在「植物組織培養學」既有課程融入「永續農業」導向目標，將有助於以農業生物科技之策略來發展「永續農業」，在既有課程目標下，帶入新的元素，也能讓學生能將所學知識與實驗技能，藉由學生「永續農業」主體式研究發想，分組來進行探究與實作(Stefani and Tariq, 1996)，在完成一個研究主題計畫之前提下，培養具有獨立思考、資料探索與自主學習之多元能力，也呼應本校學校整體定位辦學目標或特色發展之「重點二、培育多元專業人才，強化就競爭力」(國立彰化師範大學 105~112 年中長程校務發展計畫)。

(6)建構生物學探究實作「教學鷹架」有助於學生主動學習與解決問題之案例

傳統上，在大學生物科學之基礎實驗課當中，學生必須遵循基本的實驗步驟(protocol or recipe)，以達到預期的實驗結果(predictable results) (Stefani and Tariq, 1996)。但隨著高等教育的普及和班級規模的擴大，漸漸顯露出這種傳統教學方法的限制，這種傳統的生物科學之基礎實驗課和評量無法營造一個學生主動積極與探究問題的實驗學習環境(active-learning environment) (Stefani and Tariq, 1996)，有別於傳統的積極式生物學實驗教學法，近來教學實例顯示：以學習者為中心，團隊合作(Scott et al., 2017)，並藉由問題導向進行探究與實作輔以「教學鷹架」(Philip JMD and Taber KS, 2016)，有助於營造一個探究問題的實驗學習環境，Stefani 與 Tariq (1996)也在教學實例中開發了三個新的開放式實驗教學策略：學習者為中心；團隊合作；並藉由問題導向分組 (Fig. 5)，基於實驗項目的問題，將學生四人分成一組，學生被分配到一個小組和一個需實驗研究科學問題，在時間和預算的限制下設計和進行適當的實驗，並以科學海報的形式展示他們的成果，此創新教學方式也能作為產業界訓練課程之範例 (Stefani and Tariq, 1996)，Philip 與 Taber (2016)則提出建構生物學探究實作「教學鷹架」之三循環步驟(Fig. 6)：循環步驟 1：探究問題，導入鷹架；循環步驟 2：實作技能，搭建鷹架；循環步驟 3：自主獨立性探究實作，撤除鷹架(Philip JMD and Taber KS, 2016)，因此「搭建生物學探究實作教學鷹架」首先引導學生探究實作所需之基礎先備知識與技能；接著「撤除教學鷹架」將有助於學生以團隊合作、主動學習與解決問題來達到實驗課程學習目標與技能，這也是本教學實踐研究計畫「建構永續農業導向之植物組織培養學探究實作課程用以研發增益作物生長與免疫之土壤益生菌」之重要理論基礎與依據。

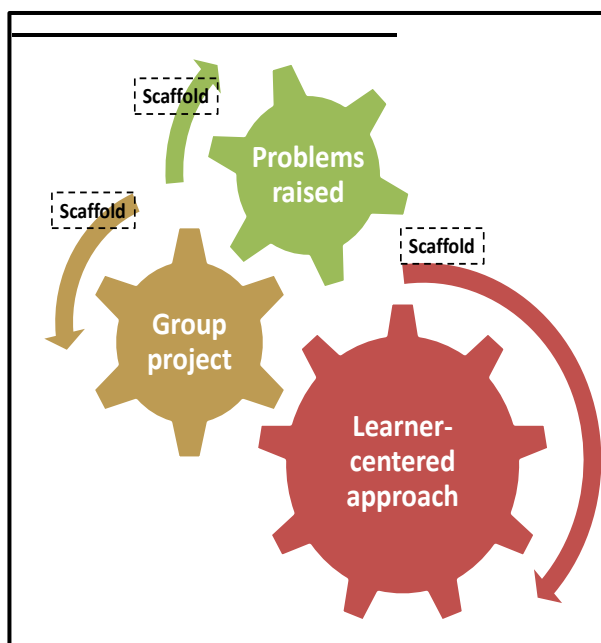


Fig. 5 有別於傳統的積極式生物學實驗教學法。以學習者為中心，團隊合作，並藉由問題導向進行探究與實作，並輔以「教學鷹架」(adapted by Stefani and Tariq, 1996; Scott et al., 2017)。

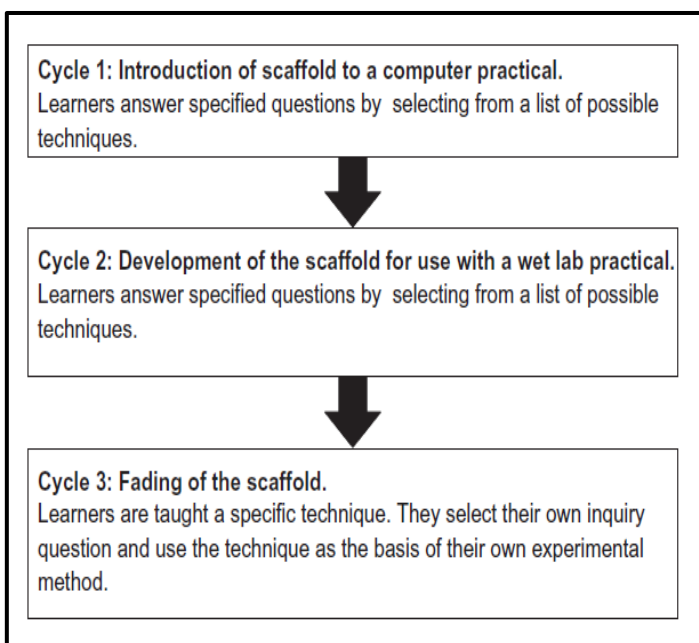


Fig. 6 建構生物學探究實作「教學鷹架」之三循環步驟。循環步驟 1：探究問題，導入鷹架；循環步驟 2：實作技能，搭建鷹架；循環步驟 3：自主獨立性探究實作，撤除鷹架(adapted by Philip JMD and Taber KS, 2016)。

3. 研究方法(Research Methodology)

可包含實驗場域、研究對象、研究架構、資料蒐集方法與工具與分析方法等項目，但不限於列舉內容。

(1)研究場域說明

本計畫中在分項目標一：建構永續農業導向之植物組織培養學探究實作課程：次目標為：<1-1>探究課程以比較「永續農業」與「慣行農法」之差異與優劣勢，將請學生提出問題來探究比較「永續農業」與「慣行農法」之差異？例如：「永續農業」與「慣行農法」對於土壤、環境、生態、作物、經濟之影響(Fig. 7)，並以主題研究報告方式進行口頭與書面正式報告。<1-2>實作與研習基礎植物組織培養理論課程與實驗技術，共有 15 個單元主題(Table 1)，包含：「1. 組織培養無菌操作原理與安全」、「2. 種子消毒與培植」、「3. 培養基配置與滅菌」、「4. 植物荷爾蒙配製」、「5. 組織培養分生苗」、「6. 水稻癒傷組織誘導」、「7. 體細胞變異與分析」、「8. 下胚軸癒傷組織誘導」、「9. 荷爾蒙誘導器官再生」、「10. 分生苗移瓶培養」、「11. 組培突變誘導技術」、「12. 組培基因轉殖作物選殖」、「13. 分離植物原生質體」、「14. 溫度敏感突變株選殖」、「15. 無病毒培植體培養」，教學方法上包含：簡報與實驗實作，後續也將課程與植物組織培養實驗課製作成數位高解析度影音教材；<1-3>發展「線上評量」與「植物組織培養技術檢定流程」(Fig. 8)，接著將發展線上「植物組織培養」基礎知識評量題庫與評量系統，預計建置約 300~500 題庫，讓學生來進行線上施測，以作為基礎「植物組織培養」知識評量策略之一，將利用本校已建置之「彰化師大雲端學院」之線上評量系統 (<https://dlearn.ncue.edu.tw/mooc/index.php>)，通過「線上評量」檢核後(Fig. 8)，將接著進行實作檢核「植物組織培養技術檢定」(Fig. 8)，以教師、助教、與邀集校外專家，如：農業試驗所生物技術中心組織培養實驗室中陳威臣研究員為評審群，對於學生之「植物組織培養實驗技術」進行能力與實作檢定，共有 4 項檢定主題與流程(Table 1)，包含：「1. 培養基配置與滅菌」、「2. 種子消毒與培植」、「3. 荷爾蒙誘導器官再生」、「4. 分生苗移瓶培養」，通過評量檢定之學生將頒發「植物組織培養技術檢定證明」。



Fig. 7 次目標<1-1>探究課程以比較「永續農業」與「慣行農法」之差異與優劣勢，擬探究主題。

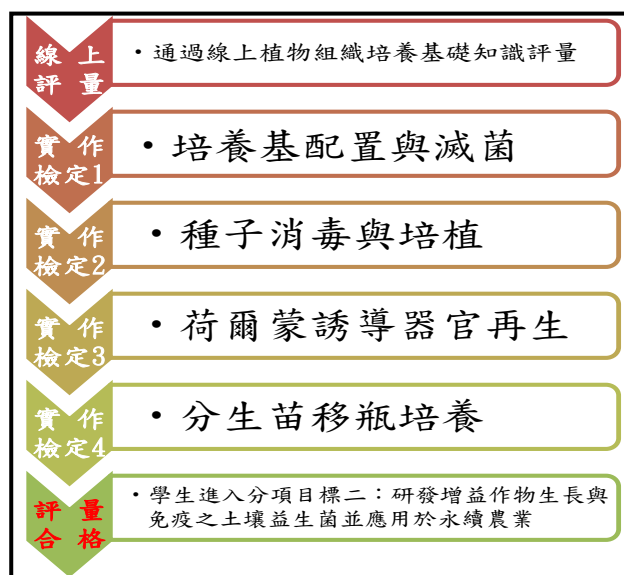


Fig. 8 次目標<1-3>發展「線上評量」與「植物組織培養技術檢定流程」，預計檢定項目與流程。

Table 1 次目標<1-2>實作與研習基礎植物組織培養理論課程與實驗技術。

| 單元 | 單元名稱 | 授課方式 | | | | | |
|----|---|------|----|----|----|----|----|
| | | 簡報 | 文件 | 圖片 | 影片 | 網站 | 其他 |
| 1 | Introduction, grading, lab safety, sterile technique (組織培養無菌操作原理與安全) | V | V | V | V | | |
| 2 | Sterilization of plant seeds (Arabidopsis, rice and tobacco plants) (種子消毒與培植) | V | V | V | V | | |
| 3 | Preparation and composition of nutrient media (培養基配置與滅菌) | V | | | | | |
| 4 | Preparation of medium containing hormones (植物荷爾蒙配製) | V | V | | V | | |
| 5 | Mass micropropagation of healthy plants (組織培養分生苗) | V | V | V | | | |
| 6 | Induction of callus formation from rice embryo (水稻癒傷組織誘導) | | V | V | V | V | V |
| 7 | Somaclonal variation (體細胞變異與分析) | V | V | V | V | | |
| 8 | Induction of callus from <i>Arabidopsis</i> hypocotyls (下胚軸癒傷組織誘導) | V | V | V | | | |
| 9 | The regulation of hormones during organogenesis (荷爾蒙誘導器官再生) | V | V | V | V | | |
| 10 | Subculture and shoot formation (分生苗移瓶培養) | | V | V | V | V | |
| 11 | <i>in vitro</i> mutagenesis, anther culture, cryopreservation, suspension (組培突變誘導技術) | V | V | V | V | | |
| 12 | Selection of transgenic plants (組培基因轉殖作物選殖) | V | V | V | V | | |
| 13 | Preparation of plant protoplast (分離植物原生質體) | V | V | V | V | | |
| 14 | Root formation and temperature sensitive mutant (溫度敏感突變株選殖) | V | V | V | V | | |
| 15 | Generation of virus-free plantlets (無病毒培植體培養) | | V | V | V | V | |

承接分項目標一，若學生通過「線上評量」與「植物組織培養技術檢定」二項評量檢定，表示學生具有足夠之知識與技術能力能進行更深入探究與實作課程用以研發增益作物生長與免疫之土壤益生菌，也就是下階段本計畫分項目標二：研發增益作物生長與免疫之土壤益生菌並應用於永續農業：次目標為：<2-1>選殖與繼代增益作物生長與免疫之土壤益生菌，學生將4人為1組，分組進行，將已選定建立增益作物生長與免疫之益生菌之農耕土壤樣區（生物學系實驗園等），包含二處慣行農法區可作為本計畫之控制組與有機區，可為本計畫之增益作物生長與免疫之益生菌繼代選殖取樣區，選殖與繼代增益作物生長與免疫之益生菌工程(engineering microbiomes)，利用「土壤菌相」與「作物生長」外表形態雙向策略(Fig. 9)，首先將番茄或小黃瓜分別種植於慣行與有機區土壤(Fig. 9-1)；接著 (Fig. 9-2)；2周後選取具有作物生長較佳之土壤菌相(Fig. 9-3)；將此作物生長較佳土壤菌相移植入新的滅菌土(Fig. 9-4)，如此重複4次進行土壤菌相增殖、繼代選殖工程，最後不僅豐富(enrich)增益作物生長與免疫之益生菌，也有助於後續專一性選殖土壤益生菌。；<2-2>分析益生菌之溶磷、固氮能力與增益植物生長免疫效應，將模式植物阿拉伯芥(Arabidopsis thaliana)種在不同條件的礦物磷培養基當中(Fig. 10)，加磷培養基為植物生長的理想條件，預期植株有正常生長。而三盤分別為缺磷條件下的控制組、酵母菌控制組及溶磷酵母菌實驗組，另外盤分別為缺磷條件並補充磷酸鈣條件下的控制組、酵母菌控制組及溶磷酵母菌實驗組，固氮能力與增益植物生長免疫之研究設計組別與益生菌之溶磷能力分析相同；<2-3>開發增益作物生長與免疫之益生菌製劑與技轉，接著將學生探究與實作成果建置菌種資源庫與溶磷或固氮等益菌製劑。

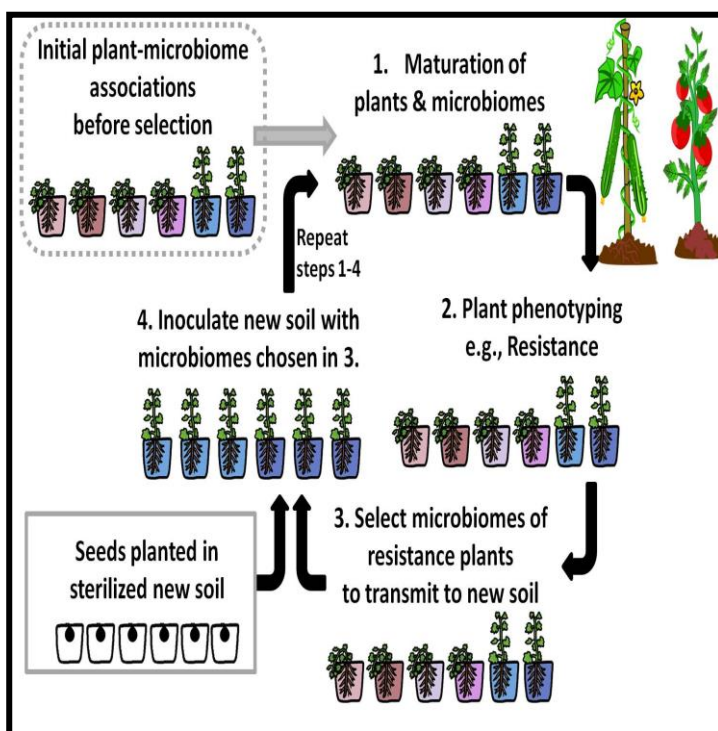


Fig. 9 本計畫選殖與繼代增益作物生長與免疫之土壤益生菌~增益小黃瓜與番茄生長為模式之流程圖。

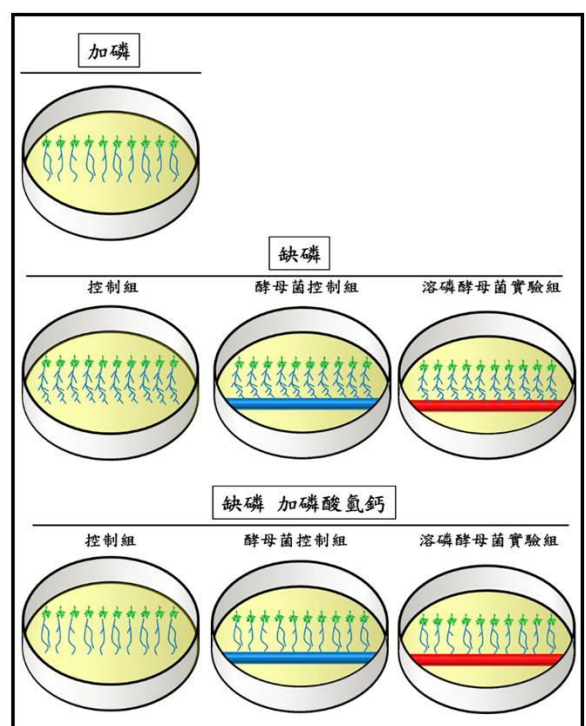


Fig. 10 溶磷酵母菌及含礦物磷培養基之實驗設計示意圖。

(2)研究步驟說明

A.研究架構

本研擬教學實踐研究計畫研究架構上將以前期課程成果為基礎 (Fig. 11)，依序將在 1 年內達成 2 項階段目標與對應之預期成果，第 1 項階段目標為：建構永續農業導向之植物組織培養學探究實作課程模組，產出包含：探究主題報告、影音教材、線上評量系統、植物組織培養技術檢定流程；第 2 項階段目標為：研發增益作物生長與免疫之土壤益生菌並應用於永續農業，產出包含：菌種資源庫、技術手冊、溶磷或固氮等益菌製劑、益菌製劑產品技轉 (Fig. 11)。



Fig. 11 本教學實踐研究計畫之研究架構、分項目標、執行流程與預期成果。

B.研究假設

本教學實踐研究計畫將檢驗探討此項假設：大學生物或農業相關系所之學生與教師可藉由「永續農業導向之植物組織培養學探究實作課程模組」達成(1)教師能將個人研究(例如：植物學)與培育學生連結；(2)學生能夠自行建構知識與運用所學習之技能應用於農業作物；(3)學生能夠自主學習，創新研發，貼近產業所需，將依據本計畫各項評量系統「線上評量」、「植物組織培養技術檢定流程」與「研發增益作物生長與免疫之土壤益生菌」來檢驗此項假設。

C.研究範圍

本教學實踐研究計畫研究範圍為本校大學部課程與學生，課程規劃為系列性，首先進行第1項階段：建構永續農業導向之植物組織培養學探究實作課程，在進行實作檢核「植物組織培養技術檢定」，將以教師、助教、與預計邀集農業試驗所生物技術中心組織培養實驗室中陳威臣研究員以協作實踐方式共同執行檢核流程，並舉辦「植物組織培養技術檢定」工作坊，也開放產業或學術界有「植物組織培養技術檢定」相關需求人員一同來參與；在第2項階段目標：研發增益作物生長與免疫之土壤益生菌並應用於永續農業，將與本系「酵母菌演化生態研究室」周睿鈺副教授（本計畫之共同主持人）以協作實踐方式共同規劃課程藉由植物組織培養技術，建立增益作物生長與免疫之土壤益生菌選殖實驗系統，也將共同建立此評量系統。

D.研究對象

本課程將學習植物組織培養基本原理、實務技術、探究實作能力，本選修課程開設於大學四年級，也開放二、三年級同學進行選修，在修課前應具備「基礎生物學」、「植物解剖學」、「植物生理學」與「植物形態學」相關知識與修習相關課程，並了解植物激素之作用與生長發育之分子機制，才能順利進行本課學習。

E.研究方法及工具

第1項階段目標為：建構永續農業導向之植物組織培養學探究實作課程模組中，<1-3>發展「線上評量」與「植物組織培養技術檢定流程」以作為學生基礎「植物組織培養」知識評量策略之一，將利用本校已建置之「彰化師大雲端學院」之線上評量系統 (Fig. 12)。



Fig. 12 本校已建置之「彰化師大雲端學院」之線上評量系統 (https://dlearn.ncue.edu.tw/mooc/index.php)。

第 2 項階段目標為：研發增益作物生長與免疫之土壤益生菌並應用於永續農業之**益生菌單一菌株分離**：將採集到根際土壤分別放置在培養液 15 mL 試管中在攝氏 28℃ 下以旋轉震盪器震盪培養一天，接著塗在麥芽抽出物洋菜膠培養基培養數天 3~5 天，並將不同型態的益生菌選出，採用連續劃線分離培養法純化菌株，最後將各菌株保菌於 YPD 培養基，加 15% 甘油並存放在攝氏 80℃ 的環境保存。**益生菌分類鑑定**：利用 ITS (internal transcribed spacer) 鑑定法將保存的益生菌進行分類，是指對 ITS 序列進行 DNA 定序，將得到的 ITS 序列與已知真菌 ITS 序列比較。**益生菌溶磷能力分析**：接著將益生菌接種於磷酸氫鈣(calcium hydrogen phosphate CaHPO_4)礦物磷培養基中，培養於攝氏 28℃ 環境下 5 天。觀察菌落周圍是否有透明圈的出現，若透明圈直徑愈大表示溶磷能力愈佳，反之若無透明圈則表示沒有溶磷能力。**溶磷酵母菌對於植物在含礦物磷培養基之生長影響**：將阿拉伯芥種子以消毒水(5%次氯酸鈉與數滴界面活性劑 Tween-20)搖晃消毒 5 分鐘，再以無菌水搖晃清洗 1 分鐘並重複此步驟三次，最後將消毒後種子播種於 MS medium 【Murashige and Skoog medium：1X MS salts (Sigma, St. Louis, MO cat. no. M5519), 1% Sucrose, 0.5 g/L 2-(N-morpholino) ethanesulfonic acid (MES), 1.5% Bacto-agar pH=5.7】，阿拉伯芥種子播種於不同條件的植物培養基(MS medium)，磷酸氫鈣濃度為 0.05%，種好之後以石蠟帶將培養盤密封，植物缺磷時植株生長緩慢、矮小、莖細直立，分枝較少，葉小，呈暗綠或灰綠色而無光澤，莖葉常因積累花青素而帶紫紅色。根系發育差，易老化。針對上述外表型進行觀察與分析。鮮重：植物採集來後立刻測出的重量。

在本研究中，研究團隊已建立微生物分泌性物質對於植物之影響實驗系統(Fig. 13)，將阿拉伯芥(*Arabidopsis thaliana*)種在不同條件的植物培養基(MS medium)當中：(A)加磷培養基為植物生長的理想條件；(B-D)缺磷條件下植物生長情況不佳；(E-G)缺磷條件並補充磷酸氫鈣，初步結果顯示：酵母菌編號 JYC 383 有較佳之溶磷能力，加入酵母菌實驗組 JYC103 後植株生長情況和加磷理想條件一樣好，推測溶磷酵母菌 JYC103 溶解磷酸氫鈣、釋放出磷酸根給阿拉伯芥植株利用，因此植株沒有缺磷的情況發生(Fig. 13)，此植物微生物交互作用實驗系統將有助於進行本計畫選殖研發增益作物生長與免疫之土壤益生菌並應用於永續農業。

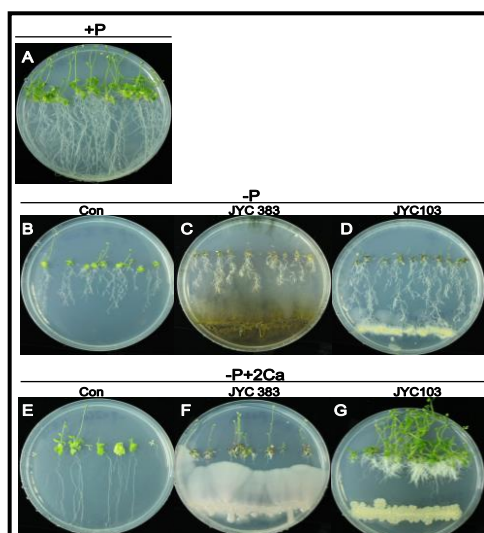


Fig. 13 溶磷酵母菌對於植物在含礦物磷培養基之生長影響。將阿拉伯芥(*Arabidopsis thaliana*)種在不同條件的培養基當中，(A)加磷培養基為植物生長的理想條件，其植株生長正常；(B)而缺磷條件下植物生長情況不佳，其葉片較小、植株萎縮、微量花青素累積於葉片；(C)加入酵母菌控制組 JYC 383 與(D)酵母菌實驗組 JYC103 後結果也沒有太大改變；(E)缺磷條件並補充磷酸氫鈣後，植株大小雖然沒有太大改變，但其根長度變長；(F)加入酵母菌控制組 JYC 383 後無改變，但(G)加入酵母菌實驗組 JYC103 後生長情況和加磷理想條件一樣好，可推測溶磷酵母菌 JYC103 溶解磷酸氫鈣、釋放出磷酸根予阿拉伯芥利用，因此植株沒有缺磷的情況發生。

F. 實施程序

本計畫將在一年內分二階段目標，分項目標一：建構永續農業導向之植物組織培養學探究實作課程；分項目標二：研發增益作物生長與免疫之土壤益生菌並應用於永續農業，將「撤除分項目標一之教學鷹架」(Figs. 11 and 12)，讓學生以團隊合作、主動學習來解決探討問題並進行獨立實作研發益生菌，實施程序與預期完成之工作如下表(Table 2)。

Table 2 實施程序與預期完成之工作項目甘梯圖

| 年分 月次 工作項目與目標 | 107~108 年 | | | | | | | | | | | |
|---|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| | 第1月 | 第2月 | 第3月 | 第4月 | 第5月 | 第6月 | 第7月 | 第8月 | 第9月 | 第10月 | 第11月 | 第12月 |
| 分項目標一： 建構永續農業導向之植物組織培養學探究實作課程 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| 工作項目 1-1 探究課程以比較永續農業與慣行農法之差異與優劣勢 | ■ | ■ | | | | | | | | | | |
| 工作項目 1-2 實作與研習基礎植物組織培養理論課程與實驗技術 | | | ■ | ■ | | | | | | | | |
| 工作項目 1-3 發展線上評量與植物組織培養技術檢定流程 | | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| 分項目標二： 研發增益作物生長與免疫之土壤益生菌並應用於永續農業 | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 工作項目 2-1 選殖與繼代增益作物生長與免疫之土壤益生菌 | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | | |
| 工作項目 2-2 分析益生菌之溶磷、固氮能力與增益植物生長免疫效應 | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| 工作項目 2-3 開發增益作物生長與免疫之益生菌製劑與技轉 | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 預定進度累計百分比 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |

G. 資料處理與分析

在次目標<1-3>發展「線上評量」與「植物組織培養技術檢定流程」方面，「彰化師大雲端學院」之線上評量系統除了能夠自動進行答案校對與給分外，也能進行「題目答題分析」與「答題之選項分析」，這將有助於深入了解學生學習概念之形成與迷思概念，實驗課評量與資料統計分析則依循 Yip 與 Cheung (2005)等人方法，「植物組織培養技術檢定流程」方面將以組織培養成品作為評分之依據，也將設計前測與後測來分析學生學習成效，教師與助教教學評量回饋則藉由本校線上教務系統，學生上網填報文字描述與教學回饋級分後，進行 5 等第分析。

4. 教學暨研究成果(Teaching and Research Outcomes)

(1)教學過程與成果

本計畫於107學年第二學期(大四)植物組織培養學(2學分)以及植物組織培養學實驗(1學分)課程中執行共12位同學與1位助教，共有六項具體教學成果，分別為；A 成果: 探究討論課程以比較永續農業與慣行農法之差異與優劣勢(Fig. 14)；B 成果: 建構線上影音開放式課程-植物組織培養理論與技術(<https://dlearn.ncue.edu.tw/mooc/index.php#2>) (Figs. 15 and 16)；C 成果: 建構線上評量題庫與測驗-植物組織培養技術(<https://dlearn.ncue.edu.tw/learn/index.php>) (Fig. 17)；D 成果: 選殖與保種增益作物生長與免疫之土壤益生菌(Fig. 18)；E 成果: 分析益生菌之溶磷、固氮能力與增益植物生長效應(Fig. 19)；F 成果: 開發增益作物生長與免疫之益生菌製劑(Figs. 20 and 21)。

A 成果: 探究討論課程以比較永續農業與慣行農法之差異與優劣勢

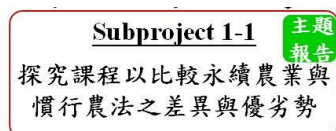


Fig. 14 探究討論課程以比較永續農業與慣行農法之差異。

B 成果: 建構線上影音開放式課程-植物組織培養理論與技術



Fig. 15 建構線上影音開放式課程與彰師大雲端學院登入網址(<https://dlearn.ncue.edu.tw/mooc/index.php#2>)。

Subproject 1-2

實作與研習基礎植物組織培養理論課程與實驗技術

影音教材

彰化師大雲端學院
NCUE Cloud Academy

自學課程 課程目錄 Guest1 退出 三國中文

OCW_植物組織培養學與實驗

實驗七 短周期甘藷器官再生 66%

培養-根

☐ 內容講解

☒ 實驗操作

☐ 小試身手

實驗八 非無菌培養的短周期甘藷器官再生培養(重複)

☐ 內容講解

☒ 實驗操作

☐ 小試身手

實驗九 短周期甘藷根轉基因篩選

☐ 內容講解

☒ 實驗操作

☐ 小試身手

實驗十 菸草葉片病毒篩選

☐ 內容講解

☒ 實驗操作(一)

☒ 實驗操作(二)

☐ 小試身手

實驗十一 菸草繁殖方法-組織

☐ 內容講解

☒ 實驗操作(一)

☒ 實驗操作(二)

實驗十二 益生菌液製成

☒ G1實驗操作

☒ G2實驗操作

☒ G3實驗操作

☒ G4實驗操作

圓葉菸草葉圓盤器官再生培養

國立彰化師範大學生物學系

106學年度組織培養學實驗G4

Subproject 1-2

實作與研習基礎植物組織培養理論課程與實驗技術

影音教材

彰化師大雲端學院
NCUE Cloud Academy

自學課程 課程目錄 Guest1 退出 三國中文

OCW_植物組織培養學與實驗

實驗七 短周期甘藷器官再生 66%

培養-根

☐ 內容講解

☒ 實驗操作

☐ 小試身手

實驗八 非無菌培養的短周期甘藷器官再生培養(重複)

☐ 內容講解

☒ 實驗操作

☐ 小試身手

實驗九 短周期甘藷根轉基因篩選

☐ 內容講解

☒ 實驗操作

☐ 小試身手

實驗十 菸草葉片病毒篩選

☐ 內容講解

☒ 實驗操作(一)

☒ 實驗操作(二)

☐ 小試身手

實驗十一 菸草繁殖方法-組織

☐ 內容講解

☒ 實驗操作(一)

☒ 實驗操作(二)

實驗十二 益生菌液製成

☒ G1實驗操作

☒ G2實驗操作

☒ G3實驗操作

☒ G4實驗操作

植物組織培養學

植物益生菌發酵試驗

第三組

陳鈺旻 陳彥廷 林佳慧

Fig. 16 建構線上影音開放式課程植物組織培養理論與技術與彰師大雲端學院登入網址 (<https://dlearn.ncue.edu.tw/mooc/index.php#2>)，共建構 12 單元。

C 成果：建構線上評量題庫與測驗-植物組織培養技術

多元評量 Subproject 1-3 線上評量 題庫 共120題

發展線上評量與植物組織培養技術檢定流程

OCW_植物組織培養學與實驗

學習互動區

課程公告

開始課程

同步課程紀錄

評量區

作業/報告

測驗/考試

問卷/設置

課程資訊區

課程介紹

課程行事曆

問題及教學

常見問題

使用教學

測驗 / 考試

自我評量：期末考

進行測驗 從即日起到無限期

查看結果 提交後公布

自我評量：期中考

進行測驗 從 2019-04-15 00:00 到 無限期

查看結果 提交後公布

Fig. 17 建構線上評量題庫與測驗-植物組織培養技術與彰師大雲端學院登入網址 (<https://dlearn.ncue.edu.tw/mooc/index.php#2>)，題庫共計 120 道題目，可隨機選題進行測驗。

D 成果：選殖與保種增益作物生長與免疫之土壤益生菌

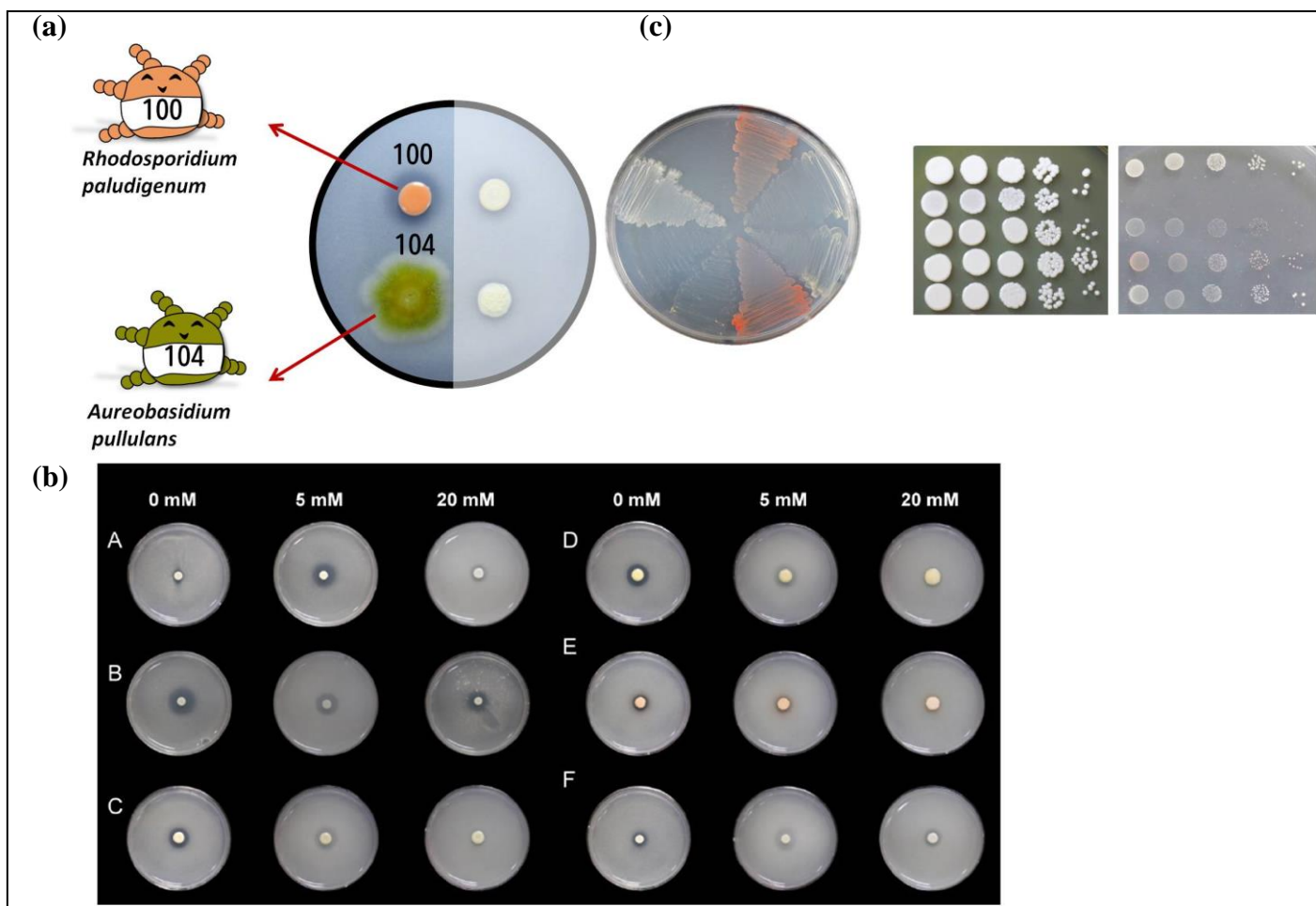


Fig. 18 選殖與保種增益作物生長與免疫之土壤益生菌。(a)溶磷酵母菌；(b) 溶磷酵母菌於不同濃度磷酸之生長與溶磷透明圈分析；(c)固氮酵母菌。

E 成果：分析益生菌之溶磷、固氮能力與增益植物生長效應

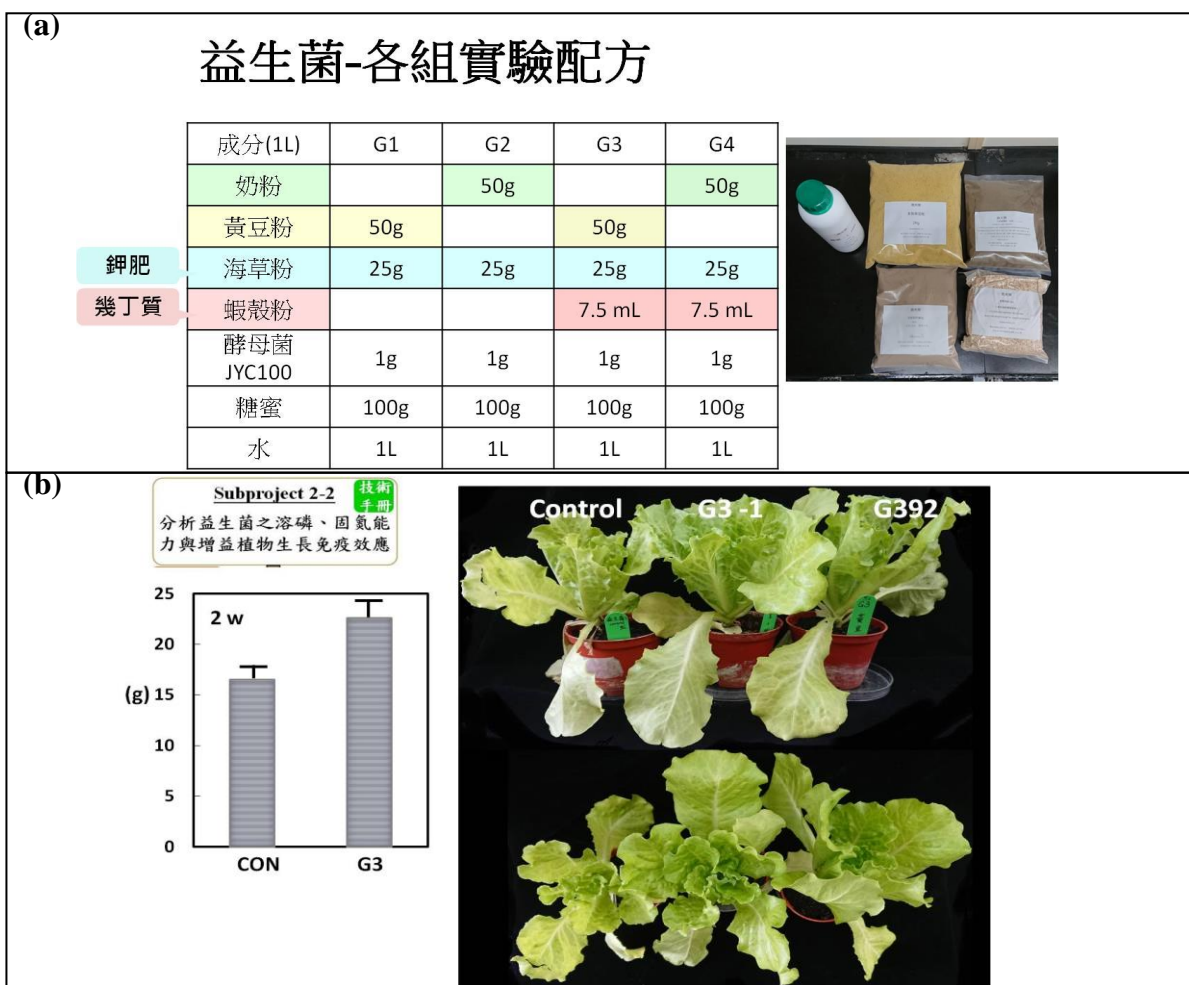


Fig. 19 分析益生菌之溶磷、固氮能力與增益植物生長效應。(a)學生各組探究培養益生菌有機資材配方；(b) 益生菌發酵液增益蔬菜萵苣植物生長效應。

F 成果：開發增益作物生長與免疫之益生菌製劑



Fig. 20 開發增益作物生長與免疫之益生菌製劑，課堂實作與特有生物研究保育中心校外研習及同學成果發表。

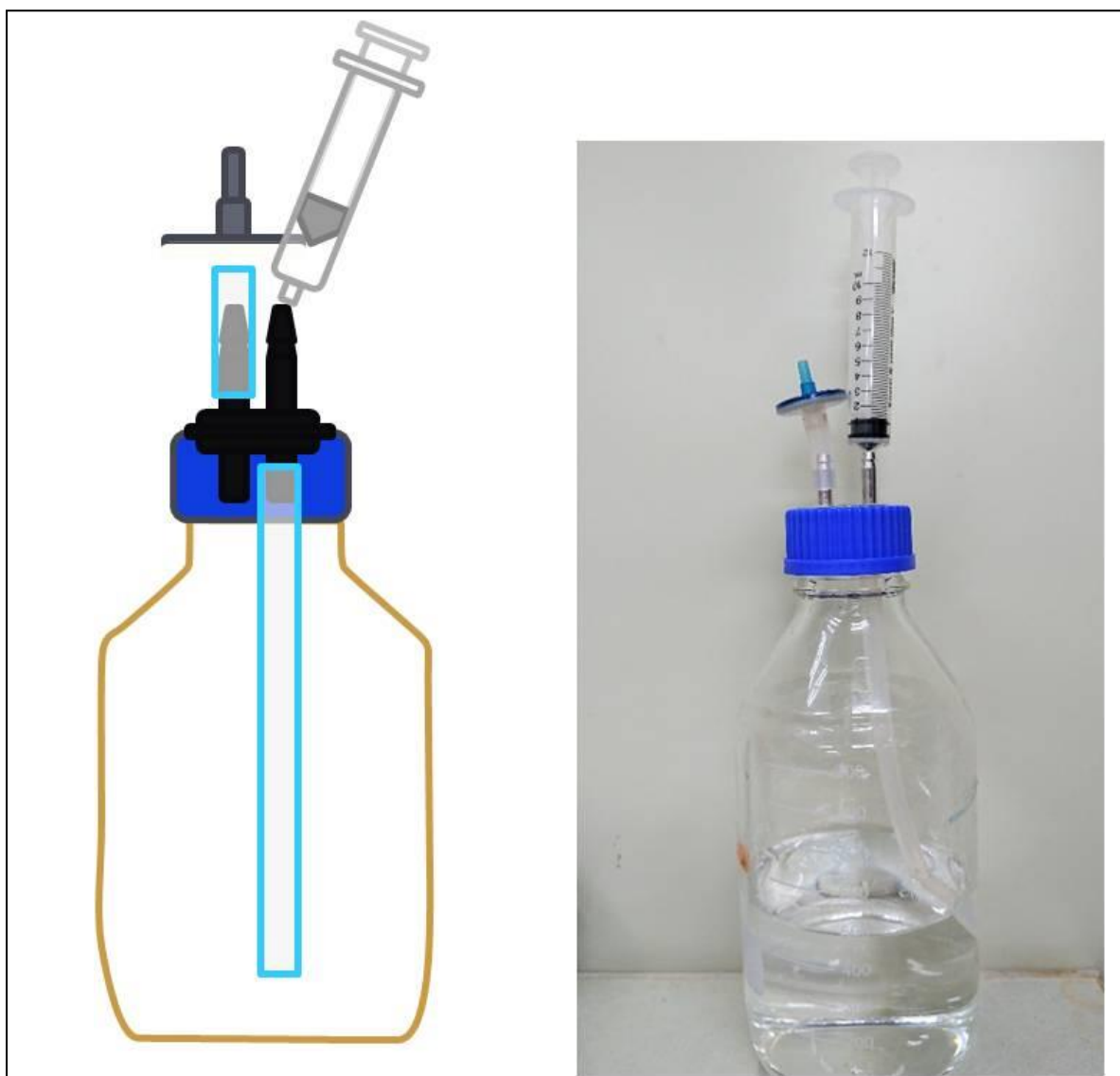


Fig. 21 益生菌自行研發發酵瓶-器材組裝完成圖。Filter 避免空氣中的微生物進入，但允許氣體流通橡膠軟管，不耐高溫，因此只能用 75%酒精消毒針筒接口不用時，需用石蠟帶封起來培養液建議裝 1/2 或 3/4 就好，可隨時抽取菌液檢測 pH, EC, NO_3^- , PHO_4^- 。

(2)教師教學反思

本計畫已產出開放式課程影音教材、線上評量系統、植物組織培養技術檢定流程。並與本系周睿鈺副教授（本計畫之共同主持人）進行跨領域合作，也已發表益生菌相關論文(Mycosphere 9: 1117 - 1131, SCI)，教學回饋分數為 4.96 分、是近三年來之最高分，前後測成績分別為 65 與 90 分，教師反思本教學實踐研究計畫成果將有助於學生自主學習，強化學習創新，培育植物學或農業生物科技產業人才。透過本教學實踐研究計畫成果已能夠：(1)將教師個人研究(例如：植物學)與培育學生連結；(2)引導學生將模式植物研究中所建構知識應用於農業；(3)培育出具備解決問題(例如：植物學或農業生物科技)能力的學生；(4)讓學生自主學習，強化學習創新，培育產業人才(例如：植物學或農業生物科技)，更重要的是所培育之學生能因應在變動中生物科學、植物學、地球環境與社會環境中提出對策與行動方案。

(3)學生學習回饋

本學期教學回饋分數為 4.96 分、是近三年來之最高分，線上評量題庫與測驗-植物組織培養技術前後測成績分別為 65 與 90 分 (Fig. 22)。

國立彰化師範大學 107學年度 第2學期 教學意見反應問卷結果

問卷類型：一般課程(General course)
科目名稱：(24032)植物組織培養學
授課教師：傅士豪
開課組別：生四
修課人數：12人 填答人數：11人 填答率： 91.67% 全答(1)的人數：0
列印日期：2019/9/4

個人基本資料

| | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----------------------------|
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (1)女 (2)男 |
| 7 | 4 | | | | 性別 |
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (1)學士班(2)研究所(碩、博班)(3)在職碩士專班 |
| 11 | 0 | 0 | | | 學別 |
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (1)一年級(2)二年級(3)三年級(4)四年級 |
| 0 | 3 | 0 | 8 | | 年級 |
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (1)必修(2)選修 |
| 0 | 11 | | | | 課程類型 |

學生自我學習評量

| | | |
|-----|-----|--------|
| (1) | (2) | (1)(2) |
| | | |

教學評量

| 平均 | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (1)完全不同意 (2)不同意 (3)普通 (4)同意 (5)完全同意 |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|--------------------------------------|
| 5.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 教師能依教學大綱授課，讓學生瞭解學習重點。 |
| 5.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 教師教學內容具學習價值。 |
| 5.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 教師關心學生學習狀況，能適時與學生討論給予回饋。 |
| 5.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 老師能少無缺課或遲到早退。 |
| 5.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 教師於教學時能尊重性別平等，不會有性別差異或性別歧視之言語、舉止、態度。 |
| 5.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 教師對學生的成績評分標準有依據且合理。 |
| 5.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 教師的講解示範條理分明、清晰流暢。 |
| 4.91 | 0 | 0 | 0 | 1 | 10 | 教師具備教授本課程之專業知識。 |
| 4.91 | 0 | 0 | 0 | 1 | 10 | 本課程有助於我知識或專業能力之提升。 |
| 5.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 整體而言，我修習本課程獲益良多。 |
| 總平均：4.96 | | | | | | |

[其他具體建議]註：對於教學評量中之性別差異題，若回答(1)完全不同意，亦請補充說明之
1. 老師應多注意於教學中尊重性別平等!!!謝謝老師!!!

問卷類型：實習(驗)課程(Practicum/Laboratory course)
科目名稱：(24033)植物組織培養學實驗
授課教師：傅士豪
開課組別：生四
修課人數：12人 填答人數：11人 填答率： 91.67% 全答(1)的人數：0
列印日期：2019/9/4

個人基本資料

| | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----------------------------|
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (1)女 (2)男 |
| 7 | 4 | | | | 性別 |
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (1)學士班(2)研究所(碩、博班)(3)在職碩士專班 |
| 11 | 0 | 0 | | | 學別 |
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (1)一年級(2)二年級(3)三年級(4)四年級 |
| 0 | 3 | 0 | 8 | | 年級 |
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (1)必修(2)選修 |
| 0 | 11 | | | | 課程類型 |

學生自我學習評量

| | | |
|-----|-----|--------|
| (1) | (2) | (1)(2) |
| | | |

教學評量

| 平均 | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (1)完全不同意 (2)不同意 (3)普通 (4)同意 (5)完全同意 |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| 4.91 | 0 | 0 | 0 | 1 | 10 | 老師能少無缺課或遲到早退。 |
| 5.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 教師對學生的成績評分標準有依據且合理。 |
| 5.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 教師的講解示範條理分明、清晰流暢。 |
| 4.91 | 0 | 0 | 0 | 1 | 10 | 教師能提供實習(驗)課程相關教材，詳細指導實習(驗)的進行。 |
| 4.91 | 0 | 0 | 0 | 1 | 10 | 教師所提供的實習(驗)內容具學習價值。 |
| 4.82 | 0 | 0 | 0 | 2 | 9 | 教師關心學生實習(驗)狀況，能適時與學生討論給予回饋。 |
| 5.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 教師指導實習(驗)時能尊重性別平等，不會有性別差異或性別歧視之言語、舉止、態度。 |
| 5.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 教師具備指導本實習(驗)課程之專業知識。 |
| 4.82 | 0 | 0 | 0 | 2 | 9 | 本實習(驗)課程有助於我專業能力之提升。 |
| 5.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 整體而言，我修習本實習(驗)課程獲益良多。 |
| 總平均：4.94 | | | | | | |

[其他具體建議]註：對於教學評量中之性別差異題，若回答(1)完全不同意，亦請補充說明之
1. 實驗課應注意安全!!!謝謝老師!!!

107 植物組織培養學=4.98

107 植物組織培養學實驗=4.94

| | | | | |
|-----|------|-----------|----|------|
| 106 | 第二學期 | 植物組織培養學 | 生四 | 4.86 |
| 106 | 第二學期 | 植物組織培養學實驗 | 生四 | 4.92 |
| 105 | 第二學期 | 植物組織培養學 | 生四 | 4.90 |
| 105 | 第二學期 | 植物組織培養學實驗 | 生四 | 4.90 |

Fig. 22 本教學實踐研究計畫執行後之學生學習回饋問卷，資料來源為彰師大教務系統

<https://nam.ncue.edu.tw/nidp/idff/sso?id=Form&sid=0&option=credential&sid=0&target=https://portal.ncue.edu.tw/portal/index.php>。

二. 參考文獻(References)

- 楊秋忠，沈佛亭。2008。溶磷微生物肥料之特性及效益。農業生技產業季刊 **16**：57-59。
- Abbasi ML, Musa N, and Manzoor M** (2015) Phosphorus release capacity of soluble P fertilizers and insoluble rock phosphate in response to phosphate solubilizing bacteria and poultry manure and their effect on plant growth promotion and P utilization efficiency of chilli (*Capsicum annuum* L.) Biogeosciences Discuss **12**:1839-1873
- Bhardwaj D, Ansari MW, Sahoo RK, Tuteja N** (2014) Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. Microbial Cell Factories **13**: 66
- Dessaux Y, Grandclément C, Faure D** (2016) Engineering the rhizosphere. Trends in Plant Sciences **21**:266-278
- Fu SF, Chen HW, Wei JY, Lee YI, Chou JY** (2017) Yeast-produced IAA is not only involved in the competition among yeasts but also promotes plant growth and development. Nova Hedwigia **105**: 135-150
- Fu SF, Sun PF, Lu HY, Wei JY, Xiao HS, Fang WT, Cheng BY, Chou JY** (2016) Plant growth-promoting traits of yeasts isolated from the phyllosphere and rhizosphere of *Drosera spatulata* Lab. Fungal Biology **120**: 433-448
- Fu SF, Wei JY, Chen HW, Liu YY, Lu HY, Chou JY** (2015) Indole-3-acetic acid: A widespread physiological code in interactions of fungi with other organisms. Plant Signaling & Behavior **10**: e1048052
- Gong M, Du P, Liu X, and Zhu C** (2014) Transformation of inorganic P fractions of soil and plant growth promotion by phosphate-solubilizing ability of *Penicillium oxalicum* I1. Journal of Microbiology **52**: 1012-1019
- Hopkins WG and Hüner NPA** (2008) Introduction to plant physiology (4th ed.)
- Khan AA, Jilani G, Akhter MS, Naqvi SMS, and Rasheed M** (2009) Phosphorous solubilizing bacteria; occurrence, mechanisms and their role in crop production. Journal of Agricultural and Biological Science **1**: 48–58
- Mehta P, Walia A, Kulshrestha S, Chauhan A, and Shirkot CK** (2014) Efficiency of plant growth promoting P-solubilizing *Bacillus circulans* CB7 for enhancement of tomato growth under net house conditions. Journal of Basic Microbiology **53**: 1–12
- Onyia CE and Anyanwu CU** (2013) Comparative study on solubilization of tri-calcium phosphate

- (TCP) by phosphate solubilizing fungi (PSF) isolated from Nsukka pepper plant rhizosphere and root free soil. Academic Journals **4**: 52-57
- Philip JMD and Taber KS** (2016) Separating ‘inquiry questions’ and ‘techniques’ to help learners move between the how and the why of biology practical work. Journal of Biological Education **50**: 207-226
- Qureshi MA, Ahmad ZA, Akhtar N, and Iqbal A** (2012) Role of phosphate solubilizing bacteria (PSB) in enhancing P-availability and promoting cotton growth. Journal of Animal and Plant Sciences **22**: 204-210
- Rajapaksha RMCP, Herath D, Senanayake AP & Senevirathne MGTL** (2011) Mobilization of rock phosphate phosphorus through bacterial inoculants to enhance growth and yield of wetland rice. Communications in Soil Science and Plant Analysis **42**: 301-314
- Scott PH, Veitch NJ, Gadegaard H, Mughal M, Norman G and Welsh M** (2017) Enhancing theoretical understanding of a practical biology course using active and self-directed learning strategies. Journal of Biological Education DOI:10.1080/00219266.2017.1293557
- Stefani LAJ and Tariq VN** (1996) Running group practical projects for first-year undergraduate students. Journal of Biological Education **30**: 36-45
- Sun PF, Fang WT, Shin LY, Wei JY, Fu SE, Chou JY** (2014) Indole-3-acetic acid-producing yeasts in the phyllosphere of the carnivorous plant *Drosera indica* L. PLoS One **9**: e114196
- Yip DY and Cheung D** (2005) Teachers' concerns on school based assessment of practical work. Journal of Biological Education **39**: 156-162

三. 附件(Appendix)

與本研究計畫相關之研究成果資料，可補充於附件，如學生評量工具、訪談問題等等。

(1) 本計畫相關雲端資料庫

https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1hbPjTzm7zasIpVfZEepLYI5_Xr8g_CmT

(2)教學實踐研究之植物組織培養課程計畫表

108 學年 第二學期 植物組織培養學 課程大綱
(五) 05-06 23202

| 周次 | 日期 | 課程內容 | 值日組 |
|----|------|--|-----|
| 一 | 2/22 | 課程簡介 | |
| 二 | 3/1 | 228 連假 | |
| 三 | 3/8 | 滅菌與消毒、 BM 基礎與生長激素培養基製作 | |
| 四 | 3/15 | 植物益生菌發酵試驗 I~益生菌接種 | |
| 五 | 3/22 | 短週期甘藍子葉柄組織培養與基因轉殖 | |
| 六 | 3/29 | 植物益生菌發酵試驗 II~液肥成分分析 | |
| 七 | 4/5 | 清明節連假 | |
| 八 | 4/12 | 植物益生菌發酵試驗 III~植物生長共培養 | |
| 九 | 4/19 | 期中考 | |
| 十 | 4/26 | 番茄子葉組織培養與基因轉殖 | |
| 十一 | 5/3 | 植物益生菌發酵試驗 IV~植物生長分析 | |
| 十二 | 5/10 | 短週期甘藍、番茄、菸草分生苗繼代 | |
| 十三 | 5/17 | 植物益生菌發酵試驗 V~影片製作 | |
| 十四 | 5/24 | 植物益生菌發酵試驗 V~影片分享與研討 特有生物研究保育中心(五~六) | |
| 十五 | 5/31 | 台中區農業改良場參訪 | |
| 十六 | 6/7 | 端午連假 | |
| 十七 | 6/14 | 期末考 | |
| 十八 | 6/21 | 成績公告與確認 | |

(3)彰化師大雲端學院植物組織培養課程電子講義

<https://dlearn.ncue.edu.tw/teach/index.php>

The image displays two screenshots of the DLEARN system interface, showing the course management page for '1072-植物組織培養學' (Plant Tissue Culture).

Top Screenshot: The page shows the course '1072-植物組織培養學-24033'. The '學習路徑' (Learning Path) section lists the following items:

- 1. 20190222-植物組織培養學實驗課程簡介
- 2. 20190308-滅菌與消毒+BM培養基製作+阿拉伯芥種子消毒與播種
- 3. 20190315-植物益生菌發酵試驗I~益生菌接種
- 4. 20190322-短週期甘藍子葉柄組織培養與基因轉殖
- 5. 20190329-植物益生菌發酵試驗II~液肥成分分析
- 6. 20190412-植物益生菌發酵試驗III~植物生長共培養
- 7. 20190426-番茄子葉組織培養與基因轉殖
- 8. 20190503-植物益生菌發酵試驗VI~植物生長分析
- 9. 20190510-番茄分生苗繼代

Bottom Screenshot: The page shows the course '1072-植物組織培養學-24032'. The '學習路徑' (Learning Path) section lists the following items:

- 1. 2018 03 08 Sterilize and Basic
- 2. 2019 03 15 medium and hormone
- 3. 2019 03 22 Transgenic plants Gene Gun and Aagro
- 4. 2019 03 28 Brassica transformation
- 5. 2019 04 12 Arabidopsis transformation
- 6. 2019 04 26 Arabidopsis transformation
- 7. 2019 05 03 Rice Transformation PPT
- 8. 2019 05 10 Double haploid

(4)學生於特有生物研究保育中心研究成果發表與研習議程表

107 學年第二學期-組織培養學

特有生物中心參訪-森林資源調查與土壤益生菌研討成果發表

研習時間：108/5/24-25（週五～周六）

行程：

| 時間 | 主題 | 主持人/主講者 | 參與人員 |
|-------------|-----------------|------------------|---|
| 108/5/24 | | | |
| 14:20-14:30 | 集合點名 | 王文昕 | 王文昕、江惟、張鈞淇、 梁心慈、林意真、楊承育、方思堯、 鍾嘉祐、許君豪、陳鈺旻、陳彥廷、 林佳慧、陳姿頤、馮韻如、周芳琦。 |
| 14:30-15:30 | 車程 | | |
| 15:30-16:00 | 行李移至房間 | | |
| 16:00-18:00 | 動物醫院參訪 | 傅士峯教授、 許再文研究員 | |
| 18:00-19:00 | 晚餐 | | |
| 19:00-20:30 | 綜合性研討會 | 傅士峯教授 | |
| 20:30-21:00 | 尋找火金姑 | | |
| 108/5/25 | | | |
| 6:00-8:00 | 植物園導覽 +山鳥小學堂 | 傅士峯教授、 呂學宇教師 | 王文昕、沈雅涵、江惟、 張鈞淇、梁心慈、林意真、楊承育、 方思堯、鍾嘉祐、許君豪、陳鈺旻、 陳彥廷、林佳慧、陳姿頤、馮韻如、 周芳琦。 |
| 8:00-8:30 | 用餐 | | |
| 8:30-10:30 | 集集小鎮 | | |
| 10:30-12:00 | 益生菌小組成果報告 | 傅士峯教授、 報告組別 | |
| 12:00-13:00 | 午餐 | | |
| 13:00-14:30 | 歸途 | | |

參與學員：王文昕、江惟、張鈞淇、沈雅涵；報告組別：第一組-梁心慈、林意真、楊承育；第二組-方思堯、鍾嘉祐、許君豪；第三組-陳鈺旻、陳彥廷、林佳慧；第四組-陳姿頤、馮韻如、周芳琦，共 16 人。

(5)本計畫經費收支結算表

執行單位名稱：國立彰化師範大學

計畫名稱：建構永續農業導向之植物組織培養學探究實作課程用以研發增益作物生長與免疫之土壤益生菌

計畫期程：中華民國:107.08.01至108.07.31止

單位：新臺幣元

百分比：取至小數點二位

| 補(捐)助 項目 | 教育部核定 計畫金額 (A) | 教育部核定 補(捐)助金額 (B) | 教育部 撥付金額 (C) | 教育部 補(捐)助比率 (D=B/A) | 實支總額 (E) | 計畫結餘款 (F=A-E) | 依公式應繳回 教育部結餘款 (G=F*D)-(B-C) | 備註 | |
|---|----------------------|-------------------------|--------------------|---------------------------|-------------|------------------|-----------------------------------|--|--|
| 人事費 | 125,700 | 125,700 | 0 | 100% | 108,790 | 16,910 | | 請查填以下資料： | |
| 業務費 | 106,300 | 106,300 | 0 | 100% | 106,300 | 0 | | * <input checked="" type="checkbox"/> 經常門 <input type="checkbox"/> 資本門 | |
| 管理費 | 34,800 | 34,800 | 0 | 100% | 34,800 | 0 | | * <input checked="" type="checkbox"/> 全額補(捐)助 <input type="checkbox"/> 部份補(捐)助 | |
| | | | | | | | | *餘額繳回方式 | |
| | | | | | | | | <input type="checkbox"/> 依補(捐)助比率繳回 | |
| | | | | | | | | <input type="checkbox"/> 依本部補(捐)助及委辦經費核撥結報作業， | |
| | | | | | | | | 已執行項目之剩餘款免予繳回 | |
| 合計： | 266,800 | 266,800 | 266,800 | 100% | 249,890 | 16,910 | 16,910 | | |
| 是否適用彈性經費支出規定(註七) (<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否)，勾選「是」者，請查填下列支出情形 | | | | | | | | 是否有未執行項目 (<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否)，金額 元 | |
| | 可支用額度(元) | | | | 實支總額(元) | | | <input type="checkbox"/> 其他 (請備註說明) | |
| 彈性經費 | | | | | | | | | |
| 支出機關分攤表： | | | | | | | | *部分補(捐)助計畫請查填左列支出機關分攤表，其金額合計應等於實支總額 | |
| | 分攤機關名稱 | | | | 分攤金額(元) | | | *執行率未達80%之原因說明 | |
| 1 | 教育部 | | | | | | | | |
| 2 | 機關1 | | | | | | | | |
| 3 | 機關2 | | | | | | | | |
| 4 | 機關3 | | | | | | | | |
| 合計 | | | | | | | | | |

業務單位：

生物學系 傅士峯

生物學系 耿全福

主(會)計單位：

會計室 張美玲

會計室 吳孟芬

首長(或團體負責人)：

校長 郭艷光

一、本表請隨函檢送乙份。

二、本表「教育部核定計畫金額」係由教育部審核調整後之金額，若未調整，則填原提計畫金額。

三、本表「教育部核定計畫金額」及「實支金額」請填寫該項目之總額(含自籌款、教育部及其他單位分攤款)。

四、本表「依公式應繳回教育部結餘款」以全案合計數計算。

五、若實際繳回金額與依本表公式計算之金額有差異時，請於備註說明。

六、計畫執行率未達百分之八十者，請於備註敘明原因。

七、各大專校院之科技計畫中屬研究性質者，或政府研究資訊系統(GRB)列管之計畫，始得適用彈性經費支出規定。